

基于 Visual Modflow 的矿井涌水量预测

Prediction of Mine Water Inflow Based on Visual Modflow

李俊梅

Junmei Li

中煤科工集团南京设计研究院有限公司 中国·江苏 南京 210031

China Coal Science and Technology Group Nanjing Design and Research Institute Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210031, China

摘要: 论文分析了我国邹庄井田矿井水文地质条件,建立了井田的水文地质模型及数学模型,运用 Visual Modflow 软件对矿井成功模拟了井田水文地质条件,并在此基础上对预测了矿井涌水量,为矿井开采排水系统设计提供依据。

Abstract: This paper analyzes the hydrogeological conditions of Zouzhuang mine field in China, establishes the hydrogeological model and mathematical model of the mine field, successfully simulates the hydrogeological conditions of the mine field by using Visual Modflow software, and forecasts the mine water inflow on this basis, so as to provide basis for the design of mine mining drainage system.

关键词: 邹庄井田; 矿井涌水量; 数值模型; Modflow

Keywords: Zouzhuang mine field; mine water inflow; numerical model; Modflow

DOI: 10.12346/etr.v4i3.5830

1 引言

矿井涌水量是在矿山开辟与开采过程中,单位时间内涌入矿坑的水量。矿井涌水量是确定矿产水文地质条件复杂程度的重要指标之一,也是确定矿井开采方案方法、设计矿井水仓、疏排水系统及制度防治水措施的重要依据。为确定矿井涌水量大小,长期以来不少学者、技术人员用不同方法对矿井涌水量预测进行了大量研究。

近年来,随着地下水三维模拟及优化管理模型的迅速发展,将水流数值模拟软件引入矿井涌水量预测中,成为科研、实践中的一个热门研究方向。论文利用邹庄煤矿已有水文地质资料,建立了相应的数值模型,应用 Visual Modflow 软件较准确的预测了矿井的涌水量。

2 Visual Modflow 软件介绍

Visual Modflow 是由加拿大滑铁卢(Waterloo)水文地质公司在 Modflow 软件基础上应用现代化技术开发研制而

成的,它将 Modflow(水流评价)、Modpath(平面和剖面流线示踪分析)和 MT3D(溶质运移评价)同最直观强大的图形用户界面结合在一起。成为能够建立三维地下水流动和污染物迁移模型的、具有友好界面的最优应用软件。

Modflow 界面设计包括三大彼此联系但又相当独立的模块,即输入(前处理)模块,运行(处理)模块和输出(后处理)模块。其中,输入模块允许用户直接在计算机上赋值给所有必要的输入参数,以便形成一个三维渗流模型,运行模块允许用户修改 Modflow, Modpath 和 MT3D 的各类参数与数值,包括初始估值、各种计算方法的控制参数、激活疏干一饱水软件包和设计输出控制参数等,输出模块允许用户可以不同方式展示模型模拟结果^[1]。

3 矿井水文地质条件

3.1 矿井概况

中国邹庄井田位于淮北市溪县南坪镇、双堆集镇,北距

【作者简介】李俊梅(1983-),女,中国江苏南京人,硕士,工程师,从事矿井水文地质研究。

淮北市 56km、濉溪县 50km, 东北距宿州市 25km。

井田范围内地势平坦, 地形简单, 地貌类型单一, 主要为河间平地。区域地层从老到新发育有太古界一元古界, 古生界寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系, 中生界三叠系, 新生界第三、四系。在地层层序中, 除部分缺失外, 一般均发育比较齐全。

3.2 井田水文地质特征

根据区域地层岩石的含水条件、含水赋存空间分布, 井田内可划分为新生界松散层孔隙含水层(组)、二叠系主采煤层砂岩裂隙含水层(段)、太原组及奥陶系石灰岩岩溶裂隙含水层(段)三个部分。各含水层主要水文地质特征见表1。

其中, 新生界松散孔隙含水层可细分为新生界第一、二、三、四等四个含水层组, 除第四含水层组直接覆盖在煤系之上外。第一、二、三含水层(组)之间分别对应第一、二、三隔水层(组)分布。它们主要由黏土、砂质黏土及钙质黏土组成, 厚度 10~158m, 分布稳定, 隔水性能较好, 尤其是第三隔水层(组), 以灰绿色粘土为主, 单层厚度大, 可塑性强, 塑性指数 21~38, 膨胀量近 13.7%, 隔水性能良好, 是区域内重要的隔水层(组)。

二叠系砂岩裂隙含水层主要由泥岩、粉砂岩及砂岩组成, 根据地层岩性组合特征及可采煤层赋存位置, 二叠系砂岩裂隙含水层划分为: 3₂煤顶底砂岩裂隙含水层、煤顶底板砂

岩裂隙含水层, 10煤顶底板砂岩裂隙含水层等三个含水层, 对应各主采煤层砂岩裂隙含水层划分为四个隔水层: 1~2煤隔水层段、4~6煤隔水层段、8煤下铝质泥岩隔水层段和 10煤下海相泥岩隔水层段, 它们隔水性能良好。

井田范围内, 新生界第一含水层(潜水)以大气降水补给为主, 水平径流补给次之, 排泄方式为垂直蒸发、人工开采和河流排泄。第二、三含水层以层间径流为主, 局部地方为越流补给。第四含水层及二叠系砂岩裂隙含水层、太原组及奥陶系石灰岩岩溶裂隙含水层均以层间径流补给为主。根据井田所在水文地质单元来看, 井田潜水及深层地下水位均自西北向东南倾斜, 是地下水径流区。潜水位坡度约 1/20000。在天然状态下潜水受到大气因素影响, 发生积极的垂向水力交换, 深部各承压含水层则以自西北~东南方向缓慢水平径流运动^[2]。

4 水文地质概念模型

根据区域水文地质条件, 同时考虑到附近钱营孜矿井影响, 评价将孔隙水计算范围为以邹庄矿井及钱营孜矿为中心的 30km×30km, 面积约为 900km²(见图1); 边界概化为定水头边界, 模拟区为非均质各向异性。基岩类含水岩组, 将矿体边界作为计算范围, 边界该化为隔水边界, 模拟区概化为非均质各向异性。

表 1 井田水文地质特征表

分组	含水层(组、段)名称	厚度(m)	Q (l/s.m)	K (m/d)	富水性	水质类型
新生界松散层孔隙含水层(组)	新生界一含	15~30	0.1~5.35	1.03~8.67	中等~强	HCO ₃ -Na.Mg
	新生界二含	10~60	0.1~3	0.92~0.95	中等~强	HCO ₃ .SO ₄ -Na.Ca HCO ₃ -Na.Ca
	新生界三含	20~80	0.143~1.21	0.513~5.47	中等~强	SO ₄ .HCO ₃ -Na.Ca HCO ₃ .SO ₄ -Na.Ca
	新生界四含	0~57	0.00024~2.64	0.0011~5.8	弱~强	SO ₄ .HCO ₃ -Na.Ca HCO ₃ .Cl-Na.Ca
二叠系主采煤层砂岩裂隙含水层(段)	3-4煤间砂岩(K ₃)含水层	20~60	0.02~0.87	0.023~2.65	弱~中等	HCO ₃ .Cl-Na.Ca SO ₄ -Ca.Na
	7、8煤砂岩含水层	20~40	0.0022~0.12	0.0066~1.45	弱~中等	HCO ₃ .Cl-Na.Ca SO ₄ -Ca.Na
	10煤上下砂岩含水层	25~40	0.003~0.13	0.009~0.67	弱~中等	HCO ₃ .Cl-Na HCO ₃ -Na
太原组及奥陶系石灰岩岩溶裂隙含水层(段)	太原组灰岩含水层	47~135	0.0034~11.4	0.015~36.4	弱~强	HCO ₃ .SO ₄ -Ca.Mg SO ₄ .Cl-Na.Ca
	奥陶系灰岩含水层	约 500	0.0065~45.56	0.0072~60.24	强	HCO ₃ -Ca.Mg SO ₄ .HCO ₃ -Ca.Mg

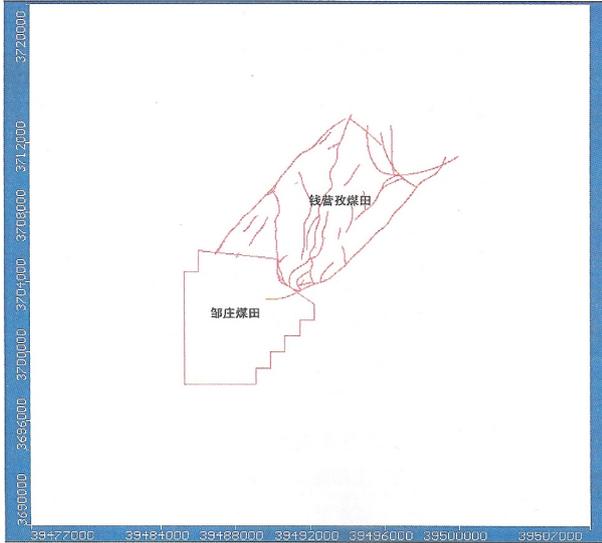


图 1 模拟区范围

为最大程度地反映勘察区地质特征，并结合水文地质模型建立的需要，利用所有勘探钻孔所揭露的水文地质条件，将地层概化为 12 层，自上而下，依次为：

- ①第 1 层为新生界松散层第一含水层（即潜水含水层）；
- ②第 2 层为新生界松散层第一隔水层；
- ③第 3 层为新生界松散层第二含水层；
- ④第 4 层为新生界松散层第二隔水层；
- ⑤第 5 层为新生界松散层第三含水层；
- ⑥第 6 层为新生界松散层第三隔水层；
- ⑦第 7 层为新生界松散层第四含水层；
- ⑧第 8 层为 1~2 煤隔水层；
- ⑨第 9 层为 3₂ 煤顶底板砂岩裂隙含水层；
- ⑩第 10 层为 4~6 煤隔水层；
- ⑪第 11 层为 7、8 煤顶底板砂岩裂隙含水层；
- ⑫第 12 层 8 煤底板隔水层。

5 数学模型的建立及验证

5.1 数学模型

综上所述，将研究区地下水系统概化为非均质，各向同性三维非稳定地下水系统，并用一下数学模型描述：

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left(KM \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(KM \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(KM \frac{\partial H}{\partial z} \right) + W = \mu^* \frac{\partial H}{\partial t} \\ (x, y, z) \in D, t > 0 \\ H(x, y, z, 0) = H_0(x, y, z) & (x, y, z) \in D \\ H(x, y, z, t) \Big|_{(x, y, z) \in S_1} = H_1(x, y, z, t) \\ KM \frac{\partial H}{\partial t} \Big|_{(x, y, z) \in S_2} = 0 \end{cases}$$

式中，H 为含水层水位（m）；H₀ 为初始水位（m）；H₁ 为含水层边界水位（m）；K 为含水层渗透系数（m/d）；

M 为含水层厚度（m）；μ* 为弹性释水系数（无量纲）；S₁、S₂ 分别为水头边界、流量边界；W 为单位面积上的入渗补给量（m/d）；D 为渗流区域（m²）；t 为时间（d）^[3]。

用 Modflow 软件以上数学模型进行求解。模拟共划分 140 × 140 个网格。

5.2 参数识别

为使模型能仿真客观水文地质原型，需进行参数调试和识别。

本项目受资料限制，勘查中的单孔抽水试验，只能提供模型参数的初值，而模型识别所属的试验数据尚不能提供。考虑钱营孜煤矿与邹庄煤矿相邻，两矿属同一个矿田，二者水文地质条件基本一致。评价拟利用钱营孜矿矿井现状条件下的涌水量 120m³/h，对数学模型进行识别，确定水文地质参数，包括含水层的渗透系数、弹性释水系数等。利用识别后的模型，对邹庄矿矿坑涌水量进行预测。

模型识别过程中，预测的涌水量变化过程如图 2 所示。由图 2，对应钱营孜矿巷道及部分工作面挖掘后第 30 天的涌水量，实际测值为 120m³/h，预测值为 114m³/h，二者基本吻合；表明，所建立的数值模拟模型基本正确，可用于进行相关的预测计算。

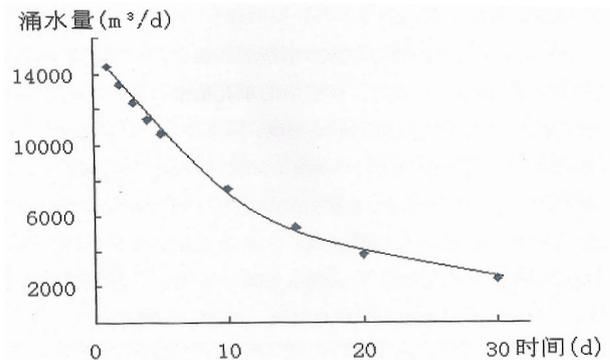


图 2 模型识别中涌水量预测值变化过程

模型验证识别过程中，基岩含水层弹性释水系数、导水系数等对地下水流场形态具有较大影响，因此把水文地质参数同时作为模型验证的率定对象，以上参数识别结果见表 2。

根据预测结果，正常矿坑涌水量随煤矿开采逐渐衰减；涌水量在初始阶段最大达 32285m³/d，早期衰减迅速，约 100 天末衰减至 5300m³/d（220m³/h）并渐趋稳定。

根据《安徽省濉溪县邹庄井田煤炭勘探报告》，比拟法预算矿井正常涌水量为 472m³/h，最大涌水量为 741m³/h。

比拟法是在相似水文条件基础上进行的分析预测，而数值模拟则是在对矿井水文地质条件的模拟基础上进行的，与比拟法相比，数值模拟更接近矿井真实水文地质条件，因此

表2 参数赋值情况 (m/d)

分区	Kx	Ky	Kz	Ss	分区	Kx	Ky	Kz	Ss
1	4.85	4.85	0.485	1×10^{-7}	7	0.08	0.08	0.008	1×10^{-10}
2	0.03	0.03	0.003	2×10^{-8}	8	0.002	0.002	0.0002	1×10^{-10}
3	3	3	0.3	1×10^{-7}	9	0.05	0.05	0.005	1×10^{-8}
4	0.04	0.04	0.004	2×10^{-7}	10	0.0015	0.0015	0.00015	1×10^{-10}
5	2	2	0.2	1×10^{-7}	11	9×10^{-5}	9×10^{-5}	9×10^{-6}	1×10^{-7}
6	5×10^{-4}	5×10^{-4}	5×10^{-5}	1×10^{-8}	12	1×10^{-6}	1×10^{-6}	1×10^{-7}	1×10^{-7}

数值模拟计算矿井涌水量在可接受范围内^[5]

6 矿井涌水量预测

结合邹庄煤矿的开采计划,初期开采3₂煤层,后期开采7₂、8₂煤层。矿井建成达到设计能力240万t/a后,稳产工作面面积取为2km²;利用识别后的参数,运用Visual Modflow软件,得出矿井涌水量如图3所示^[4]。

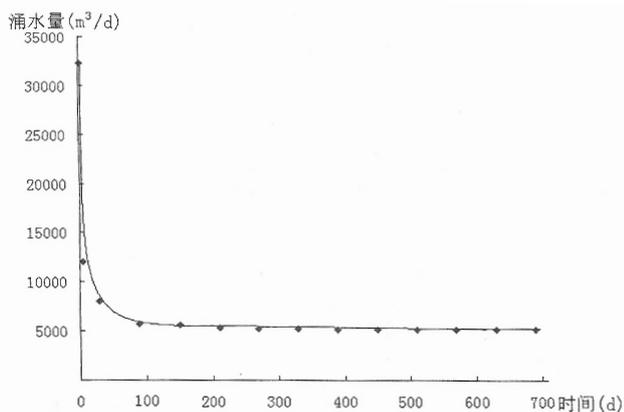


图3 预测矿井涌水量随时间变化情况

7 结语

第一,根据井田水文地质条件,邹庄经幡地层自上而下可概化为12层,其中第8~11层为煤矿开采直接充水含水层,第7层为煤矿开采间接充水含水层。

第二,运用Visual Modflow计算开采稳定后本项目正常涌水量为5300m³/d,折算标准值为220m³/h,而本项目比拟法预测矿井正常涌水量为472m³/h,数值模拟预测结果计算精度尚可。

第三,数值模拟能够较真实的反映水文地质模型的非均质各向异性,可以处理非均质、复杂边界条件下的地下水流问题。在参数准确的情况下,剖分网格越小数学模型就越逼真越接近真实情况,预测的精度也越高。因此,数值模拟在数学上虽是一种近似解,但对于解决实际问题来说,却是真实的。与其他矿井涌水量预测方法相比,数值模拟法计算时间长,过程复杂,对基础资料的要求较高。

第四,数值法运用Visual ModFlow软件建立矿井涌水量数值模拟模型,该模型可进行不同时期的模拟。预测结果对认识区域的流场情况有着重要的作用。

参考文献

- [1] 曹剑峰,迟宝明,王文科.专门水文地质学[M].北京:科学出版社,2006.
- [2] 葛亮涛.中国煤田水文地质学[M].北京:煤炭工业出版社,2001.
- [3] 徐乐昌.地下水模拟常用软件介绍[J].铀矿冶,2002,21(2):33-38.
- [4] 高慧琴.Modflow和Feflow在国内地下水数值模拟中的应用[J].地下水,2012(4):13-15.
- [5] 武强.水资源评价的可视化专业软件(Visual Modflow)与应用潜力[J].水文地质工程地质,1999(5):21-23.